

# НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВОМ КОМПЕНСАЦИИ НЕАКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ

Е.А. Кайда

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
Кафедра «Радиоэлектроника», НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина  
Тел.: (057) 706-2599, E-mail: Kaida@aport.ru

**Annotation** – This paper presents the method of designing the fuzzy controllers, which generate control actions on the basis of fuzzy logic. A functional diagram of fuzzy controller are described. Conclusions of obtained results are presented.

**Key words** – control method, reactive power, harmonic elimination, dynamic responses.

## ВВЕДЕНИЕ

Создание системы управления и регулирования промышленными объектами на основе методов нечеткой логики и мягких вычислений требует выполнения нескольких взаимосвязанных этапов. Точные значения регулируемых и контролируемых параметров объекта, получаемые с помощью датчиков, переводятся в значения лингвистических переменных в специальном блоке, получившем название “фаззификатор”. Далее реализуются процедуры нечеткого вывода на множестве продукционных правил, составляющих базу знаний системы управления, в результате чего формируются выходные лингвистические значения, которые переводятся в точные значения результатов вычислений в блоке “дефаззификатор”. На выходе последнего формируются управляющие воздействия, подаваемые на исполнительные устройства объекта управления. Эта концептуальная схема лежит в основе так называемого нечеткого контроллера, используемого в интеллектуальных системах обработки неопределенной информации, в частности, в “интеллектуальных” системах управления.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА. АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Описанная в [1] MATLAB-модель устройства компенсации неактивных

составляющих полной мощности – фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ) создана в пакете MATLAB 7.0.1 с дополнительным контуром нечеткого регулирования уровня высших гармоник питающей сети.

Функциональная схема системы управления с нечетким регулятором приведена на рис. 1. Такая система фаззи-управления состоит из объекта управления ОУ, цепи обратной связи, устройства сравнения УС, нечеткого регулятора НР.

Нечеткий регулятор содержит блок фаззификации, блок формирования логического решения и блок дефаззификации. Нечеткий вывод осуществляется за следующие четыре этапа.

1) Определение нечеткости (фаззификация). Определяются термножества входных лингвистических переменных ЛП, задаются функции принадлежности на едином универсальном пространстве для термов входных лингвистических переменных и для конкретных значений переменных определяются степени истинности рассматриваемой лингвистической переменной данному терму.

В блоке фаззификации входные переменные которыми являются «уровень высших гармоник питающей сети» -  $k_i$  и «уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения» -  $U_c$  качественно характеризуются терм-

множествами. В качестве терм-множества первой ЛП  $k_i$  используется множество  $T1=\{\text{«минимум»}, \text{«норма»}, \text{«максимум»}\}$ , а в качестве терм-множества второй ЛП  $U_c$  используется множество  $T2=\{\text{«ниже среднего»}, \text{«среднее»}, \text{«выше среднего»}\}$ . Терм-множество выходной ЛП «управляющий сигнал по напряжению» -  $delta$  представляет собой множество  $T3=\{\text{«меньше нормы»}, \text{«норма»}, \text{«больше нормы»}\}$ . Данные терм-множества описываются на универсальном множестве  $U$  функциями принадлежности ФП, определяющими степень принадлежности каждого элемента множеству  $U$  числом между 0 и 1, то есть степенью истинности

рассматриваемой лингвистической переменной данному терму.

Используя уравнение прямой, проходящей через две точки, получим следующие аналитические выражения для каждой ЛП [2]:

$$\begin{aligned} \mu_1(u) &= 1 - u, \quad u \in [0;1]; \\ \mu_2(u) &= u, \quad u \in [0;1] \\ \mu_3(u) &= \begin{cases} 2u, & u \in [0;1/2]; \\ 2(1 - u), & u \in [1/2;1]. \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

При поступлении на нечеткий регулятор в какой-то момент времени значений входных переменных с шагом квантования осуществляется пересчет входных и выходной переменных  $k_i^*$ ,  $U_c^*$  и  $delta$  в переменные  $u_1^*$ ,  $u_2^*$  и  $u_c^*$  на

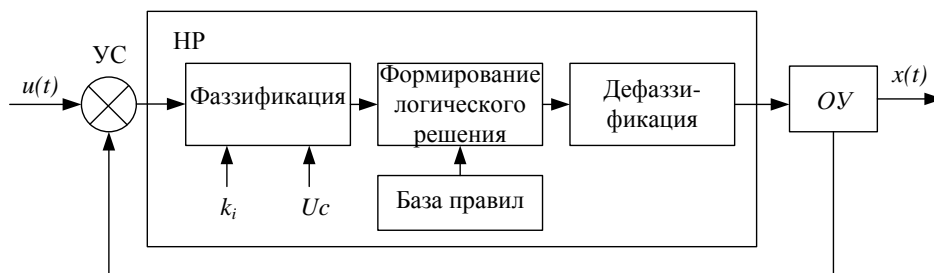


Рис. 1

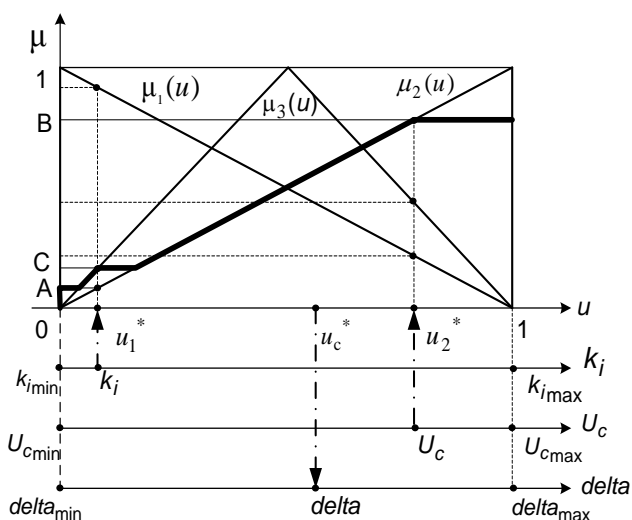


Рис. 2

Отобразим диапазоны  $[k_{i\min}; k_{i\max}]$ ,  $[U_{c\min}; U_{c\max}]$ ,  $[delta_{\min}; delta_{\max}]$  изменения входных и выходного параметров на единое

универсальное множество  $U = [0;1]$ . На множестве  $U = [0;1]$  зададим три нечетких подмножества, ФП которых треугольной формы показаны на рис. 2.

универсальное множество  $U = [0;1]$  по формулам (2) [2] и расчет значений ФП для этих переменных (рис.2).

$$\begin{aligned} u_1^* &= (k_i - k_{i\min}) / (k_{i\max} - k_{i\min}), \\ u_2^* &= (U_c - U_{c\min}) / (U_{c\max} - U_{c\min}), \\ u_c^* &= (delta - delta_{\min}) / (delta_{\max} - delta_{\min}). \end{aligned} \quad (2)$$

В блоке формирования логического решения на основе матрицы знаний записываются лингвистические правила ЕСЛИ-ТО, описанные в [1].

ФП управляющего воздействия нечеткому множеству «меньше нормы» определяется из следующего логического уравнения:

$$\mu_{1c}(u) = \mu_1(u_1) \wedge \mu_2(u_2).$$

ФП управляющего воздействия нечеткому множеству «больше нормы» определяется из следующего логического уравнения:

$$\mu_{2c}(u) = \mu_2(u_1) \wedge \mu_1(u_2).$$

ФП управляющего воздействия нечеткому множеству «норма» определяется из следующего логического уравнения:

$$\mu_{3c}(u) = \mu_3(u_1) \wedge \mu_3(u_2).$$

Результирующая ФП для управляющего воздействия в соответствии с лингвистическими правилами нечеткого регулятора ЕСЛИ-ТО записывается в виде:

$$\mu_c(u) = \mu_{1c}(u) \vee \mu_{2c}(u) \vee \mu_{3c}(u). \quad (3)$$

2) Логический вывод. Вычисленные значения степеней истинности для предпосылок каждого правила применяются к заключениям (выводам) каждого правила. В качестве правил логического вывода обычно используется операция  $\min$ , в которой функция принадлежности вывода отсекается по высоте, соответствующей вычисленной степени истинности предпосылки правила (нечеткая логика «И»).

В соответствии с лингвистическими правилами управления ФП управляющего воздействия  $\mu_{1c}(u)$  нечеткому множеству «меньше нормы» ограничена сверху значением:

$$A = \min[\mu_1(u^*_1), \mu_2(u^*_2)] \quad (4)$$

ФП управляющего воздействия  $\mu_{2c}(u)$  нечеткому множеству «больше нормы» ограничена сверху значением:

$$B = \min[\mu_2(u^*_1), \mu_1(u^*_2)] \quad (5)$$

ФП управляющего воздействия  $\mu_{3c}(u)$  нечеткому множеству «норма» ограничена сверху значением:

$$C = \min[\mu_3(u^*_1), \mu_3(u^*_2)] \quad (6)$$

3) Композиция. Полученные нечеткие подмножества (усеченные по высоте функции принадлежности) объединяются вместе для формирования одного нечеткого подмножества (результирующей функции принадлежности) для переменной вывода (решения). Для объединения обычно используется операция  $\max$ .

Результирующая ФП для управляющего воздействия на основании выражения (3) определяется как

$$\mu_c(u) = \mu_{1c}(u) \vee \mu_{2c}(u) \vee \mu_{3c}(u)$$

и получается путем формирования максимума (жирная линия на рис.2):

$$\mu_c(u) = \max[\mu_{1c}(u), \mu_{2c}(u), \mu_{3c}(u)].$$

4) Приведение к четкости (дефаззификация). Нечеткий вывод преобразуется в четкое число. В блоке дефаззификации полученная результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия на объект управления преобразуется в числовую величину  $u_c^*$  методом определения центра тяжести плоскости результирующей фигуры, лежащей под графиком результирующей функции принадлежности по следующей формуле с учетом того, что  $A \leq C \leq B$ :

$$u_c^* = \frac{A \int_0^{A/2} u du + 2 \int_{A/2}^{C/2} u^2 du + C \int_{C/2}^C u du + \int_C^B u^2 du + B \int_B^1 u du}{A \int_0^{A/2} du + 2 \int_{A/2}^{C/2} du + C \int_{C/2}^C du + \int_C^B du + B \int_B^1 du}; \quad (7)$$

$$u_c^* = \frac{B/2 + (A^3 - 4B^3 + 3C^3)/24}{B + (A^2 - 2B^2)}.$$

Полученное значение  $u_c^*$  преобразуется в значение управляющего воздействия  $\delta[2]$  на объект управления:

$$\delta = \delta_{\min} + (\delta_{\max} - \delta_{\min}) u_c^*. \quad (8)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ. СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

В качестве примера приведем следующие результаты расчетов.

Примем в качестве входных параметров системы нечеткого вывода следующие значения нечетких ЛП:

- уровень высших гармоник питающей сети «выше среднего» -  $k_i = 0.08$ ;
- уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения «ниже нормы» -  $U_c = 1600$ .

В этом случае разработанная система нечеткого вывода должна сформировать

такой управляющий сигнал по напряжению  $\delta$  на накопительном конденсаторе инвертора напряжения, что приведет к увеличению напряжения на накопительном конденсаторе и впоследствии снизит уровень высших гармоник питающей сети до установленного нормального уровня.

На основании приведенного выше алгоритма нечеткого вывода проведем следующие расчеты.

При  $k_i = 0.08$ ,  $U_c = 1600$  соответственно формулам (4) – (6) :

$$A = 0.1, B = 0.8, C = 0.2.$$

Тогда соответственно формулам (7) и (8):

$$u_c^* = 0.64 \text{ и } \delta = 2.79,$$

что доказывается и экспериментальными данными, проведенными в пакете нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox интерактивной системы MATLAB. На рис. 3 представлены функции принадлежности для входных и выходной переменных системы нечеткого вывода в редакторе FIS Rules.

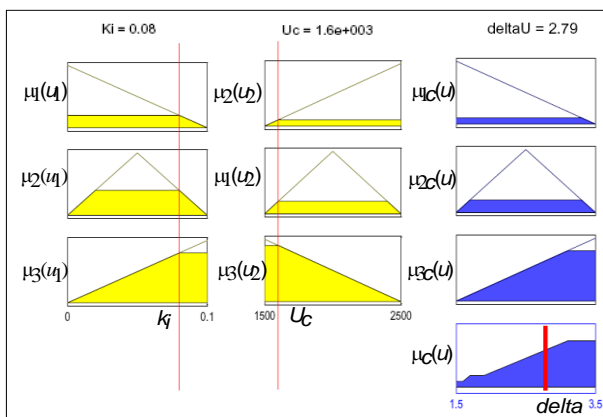


Рис. 3

Показано изменение значения выходной переменной при просмотре правил нечеткого вывода после изменения входных переменных  $k_i$  и  $U_c$ . Из рисунка видно как при этом изменяются ФП управляющего воздействия нечетких множеств «меньше нормы», «норма» и «больше нормы»  $\mu_{1c}(u)$ ,  $\mu_{2c}(u)$  и  $\mu_{3c}(u)$  соответственно, а так же результирующая ФП для управляющего воздействия  $\mu_c(u)$ .

На рис. 4а приведена диаграмма изменения напряжения на конденсаторе инвертора, диаграмма на рис.4б соответствует изменению амплитуды седьмой гармоники тока питающей сети.

Управление уровнем амплитуды седьмой гармоники тока питающей сети, а

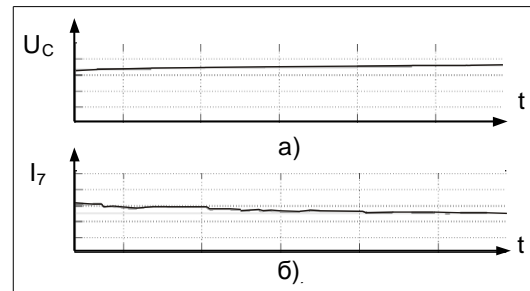


Рис. 4

так же приведение ее к установленному уровню, в данном случае это 5%, происходит при изменении напряжения на конденсаторе инвертора за счет управляющих сигналов на выходе дополнительного контура регулирования.

## ВЫВОДЫ

Приведенные в статье этапы разработки системы управления и регулирования фильтрокомпенсирующим устройством на основе нечеткой логики реализуют процедуру нечеткого вывода и дают возможность получить требуемые значения регулируемых и контролируемых параметров объекта. Результаты математического моделирования разработанного нечеткого регулятора системы управления фильтрокомпенсирующим устройством совпадают с расчетными данными, что свидетельствует о правильности выбора входных параметров и алгоритма работы приведенной системы нечеткого вывода.

[1] Домнин И. Ф., Кайда Е. А. Многоконтурная система управления фильтрокомпенсирующим устройством // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. –2010.–Часть 2.–С. 44– 47.

[2] Гостев В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления: монографія / –Нежин : ООО Видавництво «Аспект–Поліграф» . –2009. –416 с.